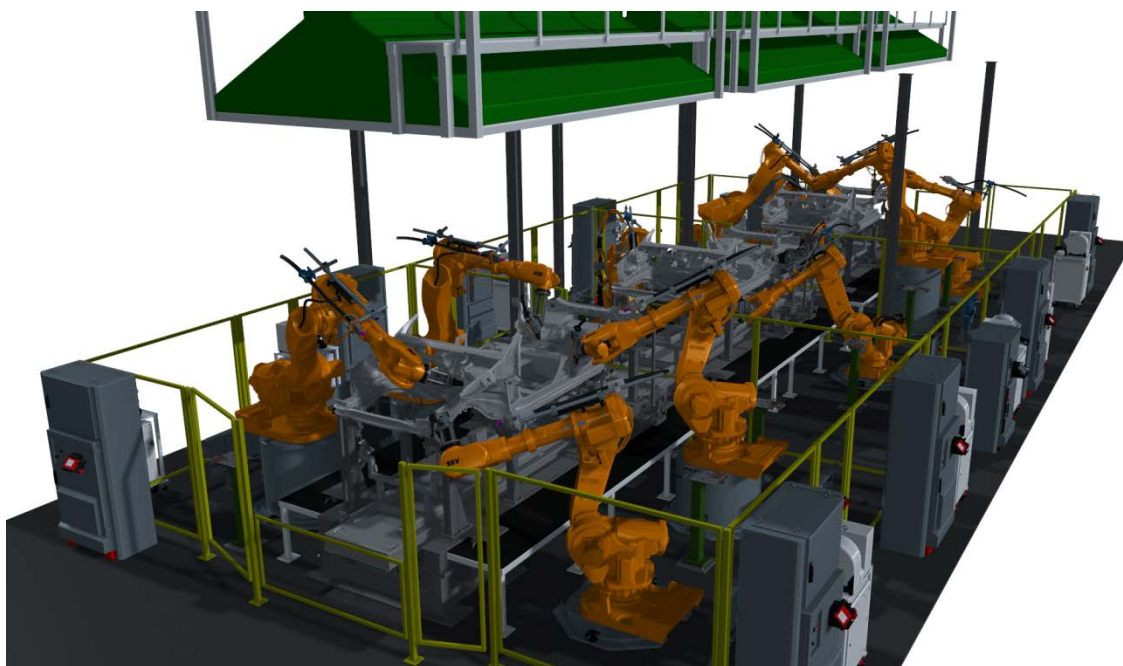


Automatisk banplanering och line-balansering



Projekt inom FFI – Hållbar produktionsteknik

Författare: Johan S. Carlson, Johan Segeborn, Magnus Jivefors

Datum: 2012-01-31

Innehåll

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte och mål	5
4. Genomförande	5
4.1 WP1: Line-balansering och stationsdesign för genomströmning och kvalitet.....	6
4.2 WP2: Banplanering och diskret optimering	6
4.3 WP3: Banplanering av robotar med kablar	7
4.4 WP4: Avancerad geometrisk ytanalys	7
5. Resultat	7
5.1 Metod för automatisk banplanering och line-balansering.....	9
5.2 Uppfyllelse av FFI-mål	10
6. Spridning och publicering	11
6.1 Kunskaps- och resultatsspridning.....	11
6.2 Publikationer	12
7. Slutsatser och fortsatt forskning	13
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	14

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

Bilindustrins vinstmarginaler är i dagsläget små och konkurrensen är hård. Industrin står dessutom inför paradigmskiften beträffande såväl framdrivning som design, med miljökrav ständigt närvarande. Det är därför viktigt med effektiv respons i produktrealiseringen. Konstruktionsbeslut tas fortfarande ofta med erfarenhet som grund snarare än matematisk analys, även om det mesta av utvecklingsarbetet numera görs virtuellt. Det här projektet riktas mot bilens kaross, vilken har en betydande påverkan på säkerhet, estetik, vägegenskaper, bränsleekonomi och toppfart.

En typisk bilkaross består av plåtdelar sammanfogade vid cirka 4000 svetsställen, som distribueras i en monteringsanläggning med hundratals svetsrobotar organiserade i upp till 100 stationer. Utrustningen måste därför utnyttjas till sin fulla potential. Balanseringen av svetsarbetet har en signifikant inverkan på produktionstakt och på utrustningsutnyttjande, men den utförs fortfarande manuellt på grund av brist på lämpliga metoder och verktyg. Detta arbete syftar därför till att utveckla automatiska metoder för att maximera utrustningsutnyttjandet och den dimensionella kvaliteten över en hel produktionslina.

Projektets övergripande mål är en mer kostnadseffektiv produktionsberedning genom matematikbaserade metoder och verktyg. Målet är i synnerhet effektivt utnyttjande av produktionsutrustning samt effektiv geometrisimulering. Detta möjliggör ökad hänsyn till produktionskrav redan under produktutvecklingsfasen, samt ökad okänslighet mot sena förändringar.

De huvudsakliga målen är:

- En produktivitetsökning om 25% i detaljerad processdesign,
- En produktivitetsökning om 25% i plåtmonteringsstationer.

Strategin för att nå målen är (i) att behandla stationsdesignparametrar tillsammans, baserat på ett kronologiskt ramverk för virtuell plåtmonteringsdesign, (ii) att utnyttja och vidareutveckla automatisk banplanering kombinerad med diskreta optimeringstekniker för att automatiskt kunna lastbalansera, sekvensiera och hitta kollisionsfria banor, samt (iii) att kontinuerligt implementera resultaten i mjukvarudemonstratorn IPS, eftersom detta arbetssätt har visat sig garantera användbarheten av projektresultaten, (iv) att använda riktiga fallstudier från industrin för att kvantifiera hur väl målen uppfylls.

Projektet har utförts i 6 arbetspaket:

- WP1: Line-balansering och stationsdesign för genomströmning och kvalitet,
- WP2: Banplanering och diskret optimering,
- WP3: Banplanering av robotar med kablar,
- WP4: Avancerad geometrisk ytanalys,
- WP5: Demonstrator och spridning av resultat,

- WP6: Projektstyrning,

och har dragit fördel av en gemensam ansträngning med forskningsaktiviteterna hos FCC och Volvo Personvagnar inom Wingquist Laboratory VINN Excellence Centre för virtuell produktframtagning.

Världens första automatiska metod för lastbalansering av svetsar på robotlinor har utvecklats och implementerats i mjukvaruverktyget IPS. Metoden (i) har framgångsrikt använts i fordonsprogram, (ii) kommer att implementeras i alla fordonsprogram och karossverkstäder på Volvo Personvagnar, och (iii) har beskrivits i fem vetenskapliga publikationer.

Tillämpning av lastbalanseringsmetoden påvisar 25% bättre utnyttjande av utrustningen samt 75% reducering av offlineprogrammering och driftsättningskostnader. Metoden möjliggör samtida produktionsteknik och produktutveckling, ökar okänslighet mot sena förändringar, samt tillhandahåller backuplösningar för robot haverier.

Projektet vann VOLVO CARS TECHNOLOGY AWARD 2011 i kategorin "Forskning".

2. Bakgrund

Bilar är en integrerad del av det moderna samhället och vårt levnadssätt. Dessutom utgör biltillverkare viktiga institutioner i samhället: de sysselsätter en mängd underleverantörer och de har många anställda. Vinstmarginalerna är dock små och konkurrensen är hård. Industrin står dessutom inför paradigmskiftet beträffande såväl framdrivning som design. Fundamentala teknologiska innovationer, främst för att möta miljömässiga krav – som dessutom inte är triviala att förutse – påverkar alla delar i kedjan. Det är därför viktigt med effektiv respons i produktframtagningen och att man inte använder mer resurser än nödvändigt. I dagsläget bedrivs utveckling till största delen i en virtuell miljö. Konstruktionsbeslut tas dock ofta fortfarande på basis av erfarenhet snarare än matematisk analys. Det här projektet riktas mot bilens kaross, eller Body-in-White, BiW, vilket kanske är den mest tydliga delen av en bil då den har en betydande påverkan på säkerhet, estetik, vägegenskaper, bränsleekonomi och toppfart.

En typisk bilkaross består av cirka 300 plåtdelar, sammanfogade av ungefär 4000 svetsställen. Typiska metoder är punktsvetsning, bågs svetsning, limning och granbults svetsning. I anläggningar för karosstillverkning är svetsarna distribuerade över flera hundra svetsrobotar, vilka är organiserade i upp till 100 stationer. Plåtmontering är minst sagt ett investeringsintensivt arbete. Den dyra utrustningen måste därför utnyttjas till sin fulla potential. Balanseringen av svetsarbete mellan stationerna och robotarna har en signifikant inverkan på produktionstakt och utnyttjande av utrustning. Robotlinebalansering är ett komplext problem, där ett antal svetsrobotar i ett flera stationer har möjlighet att genomföra en samling av svetsuppgifter. Varje svets tilldelas en specifik station och robot, så att line-cykeltiden minimeras. Effektiviteten i line-balanseringen

beror på stationens lastbalansering, robotarnas svetssekvensiering, banplaneringen samt effektiviteten i robotkoordineringen för kollisionsfri exekvering inom de respektive arbetsområdena. Robotkoordinering försämrar cykeltiden genom att väntepositioner och signaler förs in i de ursprungliga banorna.

Det existerar dock ingen automatisk och simuleringsbaserad metod för lastbalansering av svetsning över en hel produktionslina. Vidare – i industriell praktik – så utförs lastbalanseringen för svetsning fortfarande manuellt, baserat på erfarenhet och tidskrävande ”trial-and-error”-analys i CAE-verktyg (Computer Aided Engineering). Det här projektet syftar därför till att utveckla automatiska metoder för lastbalansering av svetsning över en hel produktionslina, för att maximera utrustningsutnyttjandet och den dimensionella kvaliteten. Eftersom kriteriet för dimensionell kvalitet är kopplat till cykeltid, och därmed även till utrustningsutnyttjande, är det inkluderat som ett andra kriterium i projektet.

3. Syfte och mål

Projektets mål är en mer kostnadseffektiv produktionsberedning genom framtagning av matematikbaserade metoder och verktyg. Målet är i synnerhet effektivt utnyttjande av produktionsutrustning samt effektiv geometrisimulering. Detta möjliggör ökad integration av produktionskrav under produktutveckling samt ökad okänslighet mot sena förändringar.

De huvudsakliga målen är:

- En produktivitetökning om 25% i detaljerad processdesign,
- En produktivitetökning om 25% i plåtmonteringsstationer.

4. Genomförande

Strategin för att nå målen är (i) att behandla identifierade stationsdesignparametrar tillsammans, med hänsyn till utrustningsutnyttjande och geometrisk kvalitet, baserat på ett kronologiskt ramverk för virtuell plåtmonteringsdesign, (ii) att utnyttja och vidareutveckla automatisk banplanering kombinerad med diskreta optimeringstekniker för att automatiskt kunna lastbalansera, sekvensiera och hitta kollisionsfria banor, (iii) att kontinuerligt implementera resultaten i mjukvarudemonstratorn IPS, som är tillgänglig för projektparterna, eftersom detta arbetssätt har visat sig garantera användbarheten av projektresultaten både under och efter projektet, samt (iv) att använda verkliga fallstudier från industrin för att kvantifiera hur väl målen uppfylls.

Projektet har utförts i 6 arbetspaket:

- WP1: Line-balansering och stationsdesign för genomströmning och kvalitet,
- WP2: Banplanering och diskret optimering,
- WP3: Banplanering av robotar med kablar,



- WP4: Avancerad geometrisk ytanalys,
- WP5: Demonstrator och spridning av resultat,
- WP6: Projektstyrning,

och har dragit fördel av en gemensam ansträngning med forskningsaktiviteterna hos FCC och Volvo Personvagnar inom Wingquist Laboratory VINN Excellence Centre för virtuell produktframtagning.

Mer i detalj,

4.1 WP1: Line-balansering och stationsdesign för genomströmning och kvalitet

Detta arbetspaket har i huvudsak utförts som ett industridoktorandprojekt. Deltagare är: Johan Segeborn, Volvo Personvagnar (doktorand), Anders Carlsson, Volvo Personvagnar (industriell handledare), Johan S. Carlson, FCC (akademisk bihandledare), samt Rikard Söderberg, Chalmers (akademisk handledare). Doktoranden är medlem i forskargruppen hos den akademiska partnern FCC.

Forskningen drivs av att söka svaret på frågan: Hur kan automatisk banplanering och line-balansering, integrerat med dimensionell variationsanalys, göra plåtmontering mer kostnadseffektiv?

1. Hur kan designparametrar optimeras med hänsyn till dels utnyttjande av monteringsutrustning, dels geometrisk tillverkningsvariation?
2. Vilka informationsflöden kan möjliggöra en sådan process?
3. Hur kan analytiska och automatiska verktyg utnyttjas och vidareutvecklas för att möjliggöra en sådan process?

4.2 WP2: Banplanering och diskret optimering

Vid beslut om hur en punkt- eller bågsvetsoperation skall utföras på en lina med multirobotstationer existerar många möjliga alternativ, då operationen kan göras av fler än en robot och med många konfigurationer för svetspistolen. Vidare, om flera robotar delar på samma arbetsyta, måste deras rörelser koordineras för att garantera att ingen kollision kan inträffa. I detta arbetspaket har fokus varit på att utveckla och implementera matematiska algoritmer inom kollisionfri banplanering och diskret kombinatorisk optimering. Leveranserna inkluderar särskilt en ny utjämningsalgoritm för robotrörelser, förbättringar och generalisering av lastbalanseringsalgoritmen, och en strategi för simultan balans mellan interlockingförluster och sekvensförluster för att optimera den slutliga cykeltiden.

4.3 WP3: Banplanering av robotar med kablar

En industrirobot är ofta utrustad med kablar och knippen som matar dess verktyg med signaler, ström, lufttryck, skruvar, färg, tätningsmaterial, och så vidare. Dessa kablar och knippen har en stor inverkan på tillåtna robotkonfigurationer i en robotstation. Orsaken till detta är risken för haveri som följer av hög belastning och slitage. I detta arbetspaket har fokus legat på att utnyttja framstegen inom realtidssimulering av kablar, och att göra tillägg för att kunna simulera riktiga slangpaket och sträckmekanismer. Validering av olika tillvägagångssätt för simulering har utförts. Detta arbetspaket är viktigt för att förbereda en integrering av kabelsimulering i lastbalanseringsalgoritmerna.

4.4 WP4: Avancerad geometrisk ytanalys

Positionen för exempelvis granbultar, punktsvetsar och mätpunkter drivs av funktionella och estetiska krav såsom säkerhet, hållbarhet och kvalitet, men även av fabriksrelaterade attribut såsom utrustningsutnyttjande och genomströmning. Innan dessa attribut kan optimeras med avseende på genomförbarhet, räckvidd, banplanering och lastbalansering, krävs i nuläget tidskrävande manuellt arbete. Detta steg skall säkerställa att positionerna är robusta med hänsyn till ytors geometriska egenskaper. Den huvudsakliga utmaningen är att hitta algoritmer som är okänsliga för brister på ytan. Dessa brister kan bero antingen på mänskliga misstag eller på trianguleringsalgoritmerna i CAD-systemet. Fokus i detta arbetspaket har därför varit att använda datorns grafikkort och bildbehandlingsanalys för att automatiskt kunna identifiera och kvantifiera relevanta geometriska ytegenskaper, vilka säkerställer robusta positioner.

5. Resultat

Världens första automatiska metod för lastbalansering av svetsar på robotlinor har utvecklats och implementerats i mjukvaruverktyget IPS. Metoden, (i) har framgångsrikt använts i fordonsprogram, (ii) kommer att implementeras i alla fordonsprogram och karossverkstäder på Volvo Personvagnar, och (iii) har beskrivits i fem vetenskapliga publikationer. Projektet har vidare resulterat i en akademisk doktorsavhandling i produkt- och produktionsutveckling på Chalmers, och projektet vann VOLVO CARS TECHNOLOGY AWARD 2011 i kategorin "Forskning".

Tillämpning av denna metod påvisar

- 25% bättre utnyttjande av utrustning, samt
- 75% reducereing av off-lineprogrammering och driftsättningskostnader.

Metoden möjliggör

- Samtida produktionsteknik och produktutveckling,
- Ökad okänslighet mot sena förändringar,
- Backuplösningar för robothaverier.

Projektet vann VOLVO CARS TECHNOLOGY AWARD 2011 i kategorin ”Forskning”. ”Forskning”: Premierar innovativt forsknings- och utvecklingsarbete som visar på en konkurrensfördelspotential eller en signifikant teknologisk förbättring. Nomineringar i kategorin ”Forskning” kan även inkludera rena forskningsupptäckter eller genombrott med begränsad möjlighet till implementation, fast med långsiktig framtida potential.

De utvecklade och implementerade algoritmerna för banplanering och line-balansering har med framgång testats på en 3-stations granbultslina på Volvo Personvagnar med 10 robotar, samt på en 2-stations linä med 8 robotar. Antalet granbultar är cirka 200 på varje linä. En jämförelse har gjorts mellan cykeltider för pågående produktionsprogram, optimerade av erfarna robotprogrammerare, och IPS-genererade program. Jämförelsen, inklusive interlocking-förluster, har gjorts i Volvo Personvagnars OLP-mjukvara Process Simulate samt i VOLP. Cykeltidsresultaten för Granbults-line 1 och Granbults-line 2 presenteras nedan och visar på en förbättring om 23% respektive 54%.

Industrial Reference Line							
station	robot	Running Production			Automatic Method		
		# welds	Robot CT	Station CT	# welds	Robot CT	Station CT
st1	r11	17	45.1	73.8	20	55.1	57.7
	r12	19	56.2		21	57.3	
	r13	20	73.8		20	57.7	
	r14	20	60.9		20	57.3	
st2	r21	22	53.4	55.5	21	54.3	54.3
	r22	23	55.5		20	53.5	
st3	r31	18	50.7	80.5	20	58.2	61.9
	r32	18	51.3		21	61.5	
	r33	16	48.5		19	61.9	
	r34	28	80.5		19	55.4	

Industrial Reference Line II							
station	robot	Running Production			Automatic Method		
		# welds	Robot CT	Station CT	# welds	Robot CT	Station CT
st1	r11	24	66.7	113.7	24	73.0	78.8
	r12	30	113.7		25	78.5	
	r13	20	74.5		25	71.0	
	r14	20	61.9		26	78.8	
st3	r31	26	105.1	121.4	25	70.6	72.0
	r32	29	121.4		26	72.0	
	r33	24	74.2		25	69.8	
	r34	28	80.2		25	68.8	

Relaterade tekniska resultat i detalj från projektet är följande:

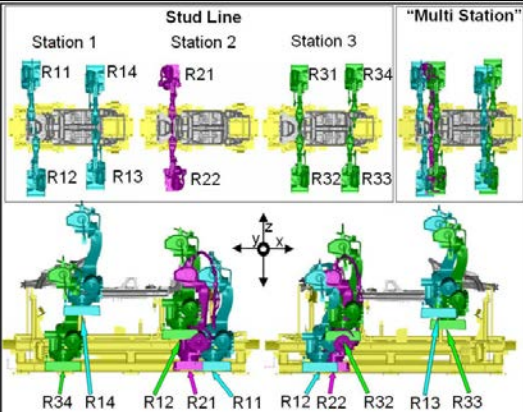
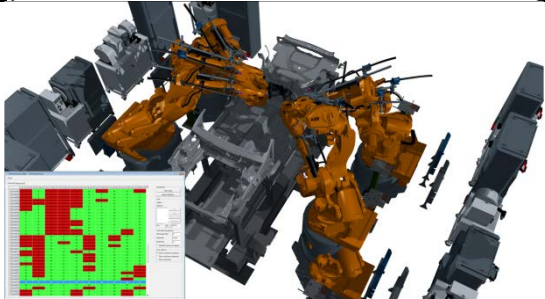
- En algoritm har utvecklats för generaliserad line-balansering med hänsyn till cykeltid och spatial separation av svetsar. Metoden förväntas vara möjlig att skalas upp även till större linor då den kan använda olika nivåer av uppskattade kostnader för robotförflyttningar, och därmed byta fart mot noggrannhet,
- En genetisk algoritm som optimerar svetssekvenser för att minimera tillverkningsvariation har utvecklats och implementerats. Algoritmen har framgångsrikt tillämpats i industriella fall,
- En genetisk algoritm för svetssekvensoptimering av dimensionell variation och cykeltid har implementerats baserat på IPS och RD&T,
- En metod och algoritm som löser interlocking-konflikter mellan robotar genom lastbalansering, sekvensiering, uppgiftskonfigurering och koordinering. Algoritmen är en del av line-balanseringsalgoritmen. Resultaten bevisar att konflikter kan tas bort med små förluster i cykeltiden,
- Ett nytt tillvägagångssätt för parallell behandling av sekvensiering och interlocking, baserat på generaliserad TSP, har nu testats med lovande resultat för upp till fyra robotar och 40 svetsar. Algoritmen kan lösa svåra geometriska interaktionsproblem mellan robotar, vilket även gör den lämplig för

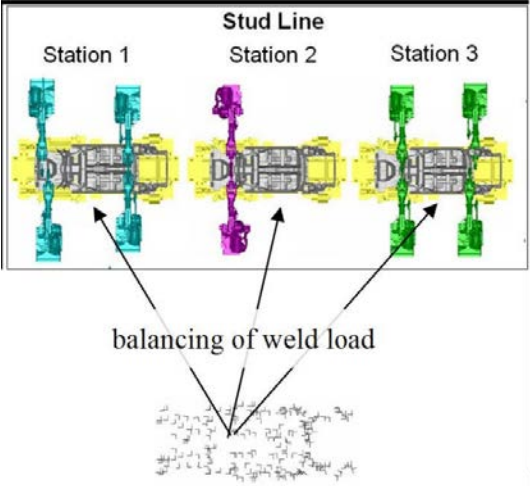
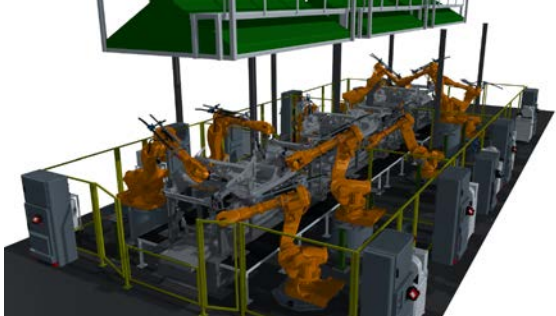
geometristationer. Arbetet kommer att skickas för publicering som “A Decoupled Approach for Collision-Free Routing and Scheduling in Multi-Robot Stations”,

- En ny lastbalanseringsalgoritm baserad på en direkt inter- och intraväxlingsteknik för robot har implementerats,
- En utjämnande algoritm för robotrörelser som möjliggör bättre kontroll över krav på frigång och korta banor,
- Genomförande av simulering av slang och DressPack för en ABB IRB6640 i IPS. Uppgiften var att simulera en flexibel rörkomponent med fullständig kontakthantering av slangar och robotlänkar,
- Jämförelse av simulering med verklighet för att få en bättre förståelse för kablers uppträdande i virtuell och riktig miljö,
- En automatisk metod för att avgöra robusthet i svetspositioner baserat på datorgrafik och bildanalys.

5.1 Metod för automatisk banplanering och line-balansering

I detta avsnitt beskrivs hur algoritmerna och mjukvaran används för att uppnå det övergripande målet om att maximera utrustningsutnyttjandet med hjälp av projektets matematikbaserade CAE-demonstrator.

<p>Skapa en multistation genom överlagring av stationernas scener och geometrier, med bibehållen robotpositionering relativt produkten (bilkarossen).</p>	
<p>Planera för att hitta kollisionsfria alternativ för varje svetsuppgift i multistationen.</p>	

<p>Fördela svetsuppgifterna mellan stationerna och robotarna för att minimera uppskattad cykeltid, samt med hänsyn till svetsseparering inom och mellan stationerna.</p>	 <p>The diagram illustrates a 'Stud Line' with three stations: Station 1, Station 2, and Station 3. Each station is represented by a 3D model of a car chassis with different colored components (cyan, purple, and green respectively). Below the chassis models is a network graph with nodes and edges. Arrows point from the graph to each of the three stations, with the text 'balancing of weld load' centered below the graph.</p>
<p>Minimera cykeltiderna genom att integrera balansering, sekvensiering, banplanering och koordinering för svetsarna som distribuerats över varje station i föregående steg.</p>	 <p>A 3D rendering of a robotic welding station. It features a green overhead structure and several orange robotic arms mounted on a grey base. The station is enclosed by a yellow safety railing.</p>

5.2 Uppfyllelse av FFI-mål

- Projektet har utvecklat metoder, algoritmer och mjukvaruverktyg som möjliggör en produktivitetöknings om 25% i detaljerad processdesign samt en produktivitetöknings om 25% i plåtmonteringsstationer, genom snabba och precisa konsekvens- och optimeringsstudier.
- Projektresultaten bidrar till en snabb och responsiv produktrealisering som kan möta nya miljökrav – vars tekniska lösningar inte är triviala att förutse – genom en signifikant ökad nivå av automatiska algoritmer inom virtuell utveckling av produktionsprocesser.
- Metoderna och verktygen i projektet siktar vidare på att reducera materialanvändning och att öka livslängden på utrustningen. I detta avseende stödjer resultaten direkt hållbar produktion genom att minimera fysiska insatser och minska den nödvändiga mängden resurser för produktion av varje enhet.
- Projektresultaten kan även användas för att utforma ett hållbart produktionssystem med flexibla karossmonteringsstationer och linor, där utrustning kan återanvändas på ett effektivt sätt.
- Projektresultaten ger en betydande reduktion av fabriksutrustningskostnader, som är den huvudsakliga kostnaden inom automatiserat karosseri. Vidare

påskyndas utvecklingsprocessen inom produktrealisering. I detta avseende bidrar projektet till en fortsatt konkurrensstark svensk fordonsindustri.

- Det matematikbaserade tillvägagångssättet i detta projekt är en avgörande faktor för att möta utmaningen i processdesignens ökade komplexitet, som en följd av det ökade antalet produktvarianter som uppstår när traditionella drivlinor kombineras med nya miljövänligare drivlinor.
- Ökad av användning och förståelse för avancerad matematik inom produktion och utveckling.
- Projektet har resulterat i en doktorsavhandling inom produkt- och produktionsutveckling på Chalmers med inriktning mot kostnadseffektiv virtuell plåtsammansättningsdesign (Johan Segeborn, Volvo Cars).
- Projektet har vidare stärkt Sveriges konkurrenskraft med avancerade användare och utvecklare av digitala verktyg i gränslandet mellan produkt och produktion.
- Forskargruppen Geometri och rörelseplanering på FCC som är en del av miljön för innovation och samarbeten; Wingquist Excellence Centre at Chalmers för effektiv produktrealisering, har blivit ytterligare förstärkt och har växt från 9 (2009) till 14 forskare (2011).
- Mjukvaruplattformen IPS för matematikbaserad virtuell produktrealisering har vidareutvecklats och kommer även fortsatt att säkra omfattande och snabb implementation av forskningsresultat, samt underlätta teknologitbyte mellan industriella partners.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Ökat intresse kring automation för liten serieproduktion, kortare utvecklingstid, fler produktvarianter på samma lina samt bättre användning av resurser är exempel på faktorer som driver utvecklingen framåt. Alla dessa förändringar stöds direkt av projektresultaten. Under 2012 kommer Volvo Personvagnar att investera i metoden, teknologin och mjukvaran för att dra full nytta av projektresultaten. AB Volvo avser inleda en pilotstudie för detaljerad utvärdering av projektresultaten i deras miljö för virtuell processpreparering och planering.

Samarbetet inom virtuell produktframtagning med Wingquist-laboratoriet på Chalmers och dess VINNEX Centre kommer att fortsätta. Detta är en utmärkt plattform för vidare spridning inom såväl industrin som akademien.

Projektresultaten och demonstratorn har kontinuerligt spridits under företagsbesök och seminarier, till exempel följande:

- Wingquist Laboratory International Seminar, Göteborg, december, 2009.

- Production Engineering Research at Scania Södertälje, april 2010.
- NordDesign 2010 Conference, Göteborg, augusti, 2010.
- ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Vancouver, British Columbia, Kanada, 12-18 november, 2010.
- Wingquist Laboratory International Seminar, Göteborg, december, 2010.
- Manufuture Conference, Wingquist Laboratory, Göteborg, december, 2010.
- The Annual Volvo Cars PhD Conference, Göteborg, 2010.
- Volvo Cars Manufacturing Research & Advanced Engineering Seminar, februari, 2011.
- Mötesplats för framtidens framgångsrika verkstäder, Katrineholm, maj, 2011.
- ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE2011, Washington, DC, USA, 29-31 augusti, 2011.
- ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011, Denver, Colorado, USA, 11-17 november, 2011.
- Wingquist Laboratory International Seminar, Göteborg, december, 2011.

6.2 Publikationer

1. Eek, G., Eriksson C, "Effective methods for solving the balanced and synchronized multiple TSP using genetic algorithms", examensarbete, Göteborgs universitet, handledare Ekstedt F., examinator Wahde M., juni 2009.
2. Segeborn, J., "Towards an Effective Virtual Sheet Metal Assembly Development Process Securing Geometrical Quality and Equipment Utilization", licentiatuppsats, Chalmers, 2009.
3. Omicevic, A, Elbing, R., "Simulering av Bultsvetsrobotar med IPS 2.0", kandidatuppsats, Högskolan Väst, juni 2010.
4. Spensieri, D., Bohlin, R., Ekstedt, F., Torstensson, J., Carlson, J., S., "Throughput Maximization by Balancing, Sequencing and Coordinating Motions of Operations in Multi-Robot Stations", In Proceedings of the NordDesign 2010 Conference, Göteborg, 25-27 augusti, 2010.
5. Segeborn, J., Segerdahl, D., Carlson, J. S., Carlsson, A., Söderberg, R., "Load Balancing of Welds in Multi Station Sheet Metal Assembly Lines," In Proceedings of the ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Vancouver, British Columbia, Kanada, 12-18 november, 2010.
6. Segeborn, J., Wärmefjord K., Carlson, J. S., and Söderberg, R. "Evaluating Genetic Algorithms on Welding Sequence Optimization with Respect to Dimensional Variation and Cycle Time" In Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE2011, Washington, DC, USA, 29-31 augusti, 2011.
7. Segeborn, J., Segerdahl, D., Ekstedt F., Carlson, J. S., Carlsson, A., Söderberg, R., "A Generalized Method for Weld Load Balancing in Multi Station Sheet Metal

- Assembly Lines” In Proceedings of the ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011, Denver, Colorado, USA, 11-17 november, 2011.
8. Segeborn, J., “Cost-effective Sheet Metal Assembly by Automatic Path Planning and Line Balancing, Integrated with Dimensional Variation Analysis”, doktorsavhandling, Chalmers, 2011.
 9. Segeborn, J., Segerdahl, D., Ekstedt F., Carlson, J. S., Andersson, M., Carlsson, A., Söderberg, R., “An Industrially Validated Method for Weld Load Balancing in Multi Station Sheet Metal Assembly Lines” Submitted to The Journal of Manufacturing Science and Engineering, American Society of Mechanical Engineers, ASME, 2011.

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Detta projekt presenterar världens första automatiska simuleringsbaserade metod för line-balansering av plåtmontering, vilken ger en markant förbättring av utrustningsutnyttjande. Metoden behandlar alla designparametrar inom line-balansering gemensamt. Tillämpat på en granbultningslina om 3 stationer, 10 robotar och cirka 200 granbultar, genererar metoden en line-cykeltid som är signifikant bättre än motsvarande för de produktionsprogram som för närvarande körs. Nödvändig tid för line-balansering har reducerats från flera månader till ungefär en dag. Metoden är implementerad i CAE-verktyget IPS och är därmed redo för vidare industriell tillämpning. Detta projekt ökar dessutom kunskapen om avvägning mellan utrustningsutnyttjande respektive geometrisk tillverkningsvariation, och hur de två kriterierna kan behandlas tillsammans, särskilt med hänsyn till svetssekvenser. Geometrisk rörelsesimulering av komplexa robotkablar med självkontakt har validerats i samarbete med ABB.

I framtida forskning kan inverkan av robotarnas placering läggas till i line-balanseringsmetoden. Vidare så skulle metoden kunna integreras med modulär fixturdesign. Detta skulle ytterligare påskynda detaljerad processdesign, och öka graden av automation inom konstruktion. Då detta projekt stödjer hållbar produktion genom minimerat resursutnyttjande för karossmontage, skulle arbetet kunna förbättras ytterligare genom att relatera resultaten till energibesparingar. Dessutom bör teknologin för kabelsimulering inkluderas i line-balanseringsmetoden för att undvika tidiga haverier, företrädesvis i nära samarbete med exempelvis ABB. Driftstopp i fabriken är dock oundvikliga och det finns därför ett stort behov av att kunna skapa backupprogram som möjliggör fortsatt produktion med lägre hastighet, i stället för ett totalstopp.

En industri- och forskningsutmaning vore att generalisera resultaten så att de kan tillämpas på komplexa geometristationer – vilka kan ha flera monteringssteg – där robotarna måste vara synkroniserade för att kunna säkerställa svetssekvenser på multirobotnivå. Detta betyder bland annat att geometrisk tillverkningsvariation måste läggas till som ett andra kriterium i line-balanseringsmetoden.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Detta har varit ett samarbetsprojekt mellan industriparterna Volvo Personvagnar, SAAB Automobile, Volvo AB, Scania CV samt forskningspartnern Fraunhofer-Chalmers Centre (FCC). En styrgrupp med en representant från varje partner har utsetts för ledning av projektet. Gruppen har ansvarat för projektkontroll, ekonomi samt rapportering till VINNOVA. Den dagliga projektledningen har hanterats av Magnus Jivefors, Volvo Personvagnar (industriell projektledare), samt Johan S. Carlson, FCC (akademisk projektledare).

Namn	Roll	Organisation	E-post och telefon
Magnus Jivefors	Projektledare, industripartner	Volvo Personvagnar	mjivefor@volvocars.com +46-31-3259570
Katarina Billett	Industripartner	SAAB Automobile	katarina.billett@saab.com +46-520-85000
Rikard Ottosson	Industripartner	Scania CV	rikard.ottosson@scania.com +46-491-765395
Meit Larsson	Industripartner	Volvo Lastvagnar	Meit.Larsson@volvo.com +46-31-3226932
Johan S. Carlson	Forskningsledare	Fraunhofer-Chalmers Centre	johan.carlson@fcc.chalmers.se +46-31-7724289

